

Consumo energético *per cápita* y tamaño poblacional bajo una perspectiva biofísica

Santander Cabrera¹ y Freddy Ruiz²

¹Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Departamento de Ecología Humana y Población, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Antropología. España.

^{1,2}Universidad del Zulia, Núcleo Punto Fijo. Venezuela.

sdcabrer@gmail.com; redy_rr_3@hotmail.com; elprofesorfreddyruiz@hotmail.com

Resumen

A fin de explorar el patrón de consumo energético individual con respecto a variables demográficas y económicas en poblaciones humanas y con la perspectiva de una eventual explicación a través de leyes físicas, se evaluó la relación del consumo eléctrico *per cápita* con indicadores demográficos y económicos en 4.590 municipios españoles durante 1999 y 2000, a través de correlaciones paramétricas de *Pearson*. Estos análisis arrojaron dos patrones de consumo energético asociados a la complejidad de los municipios: positiva en los municipios menores de 4000 habitantes y negativa en los mayores de 4000. Esto sugiere que el flujo energético en estas poblaciones puede explicarse parcialmente por dos teorías: 1) termodinámica irreversible en los municipios menos poblados; 2) teoría de optimización del consumo energético individual en los municipios más poblados. Se recomienda ampliar las evaluaciones realizadas con inclusión de variables sociales y medioambientales para una eventual aplicación en políticas de desarrollo sostenible

Palabras clave: Consumo energético, población, termodinámica irreversible, optimización del consumo energético, biofísica.

Per Capita Energy Consumption and Population Size from a Biophysical Perspective

Abstract

To explore patterns of individual energy consumption according to demographic and economic variables in human populations, the relation between per capita electric consumption and demographic/economic indicators was evaluated in 4,600 Municipal units in Spain during the 1999-2000 period. Pearson parametric correlations were used in the analysis, which was aimed at explaining the results using physical laws. These analyses resulted in two patterns of energy consumption associated with population size: positive association in municipalities with less than 4,000 inhabitants and negative association in those with more than 4,000. Such results suggest that the energy flow in these populations could partly be explained by two theories: 1) the irreversible thermodynamic theory in the case of less populated municipalities and 2) the optimization theory of individual energy consumption in the more populated municipalities. The study recommends broadening the evaluations by including social and environmental variables for an eventual application to sustainable development policies.

Key words: energy consumption, population, irreversible thermodynamics, energy consumption optimization.

1. Introducción

En su sentido más amplio, “evolución” designa el cambio que se produce al pasar de formas o estructuras antiguas a otras nuevas, bajo cinco fuerzas evolutivas: deriva de genes, flujo de genes, mutación, selección natural y selección sexual (Harris, 2004). Más allá de un enfoque estrictamente biológico, ha ganado espacio el estudio de la evolución biológica desde un enfoque físico (Zotin y cols., 2001). Es de sospechar que leyes físicas, principios fundamentales para el funcionamiento interno de los organismos y su relación con el ambiente (Schmidt-Nielsen, 1985), dirijan la adaptación de las estructuras o sistemas vivos en los diferentes niveles de organización alcanzados durante su evolución. Estos niveles se refieren a órdenes crecientes de complejidad; es decir, aquellas estructuras de más reciente aparición son más complejas que las antiguas porque incorporan nuevos elementos (sub-unidades) al sistema (Harris, 2004). También existe una opinión de mucho respeto que establece que esta tendencia gradual a la complejidad es una ilusión estadística (Gould, 1996).

No obstante, en el curso de la evolución de los organismos se observa la aparición de tejidos con nuevas especia-

lizaciones, sea gradual o “puntualmente”, que imponen enfocar el proceso de la evolución biológica desde una visión holística mucho más integral y realista que el reduccionismo de los mecanicistas (Mayr, 1998). En este contexto, se han desarrollado propuestas para explicar la evolución biológica a partir de ciertos principios físicos. Entre ellos destacan el “principio de esclavización” (Haken, 1994); máxima eficiencia en la utilización de los recursos (MacArthur, 1962); maximización de la capacidad metabólica y eficiencia interna a través de la minimización del transporte y las distancias (West y cols., 1999).

La utilización de principios físicos para estudiar sistemas biológicos también ha permitido evaluar células y ecosistemas bajo los dos principios de la termodinámica: ley de conservación de la energía y la tendencia de los sistemas físicos y químicos hacia la máxima entropía (Nicolis y Prigogine, 1977; Lamprecht y Zotin, 1978). Así, la adecuación biológica (*fitness*) puede definirse en términos de la distancia de un parámetro termodinámico a su valor óptimo. En este caso se ha propuesto que los individuos mejor adaptados según el principio de Darwin serían aquellos que produzcan mayor cantidad y más rápidamente moléculas de trifosfato de adenosina, lo que podría llamarse

máxima eficiencia energética (Torres, 1991; Maddox, 1994). El principio de la termodinámica irreversible, por su lado, establece que el aumento de sub-unidades en los sistemas biológicos está asociado a un aumento de orden y, en consecuencia, a un incremento en el consumo energético para mantenerlo (Lamprecht y Zotin, 1978).

Por otra parte, una perspectiva sociológica de la evolución entraña la incorporación de más elementos (subunidades) en los sistemas poblacionales (Duncan, 1976). Algunas propuestas tratan de explicar la evolución social humana con visiones más integradoras, como la Ecología del Comportamiento Humano, que aplica teoría y métodos de la biología evolutiva, antropología y economía para explicar la variación adaptativa en el comportamiento humano, particularmente el comportamiento social (Winterhalder, 2002; Smith y Winterhalder, 2003)

Alternativamente, se han propuesto dos teorías acerca del uso energético en los sistemas vivos. A) Teoría de Optimización: el aumento en complejidad del sistema está asociado al uso eficiente de la energía (Oster y Wilson, 1978); B) Teoría Neutral: la vida social carece de efecto sobre el consumo energético de la sociedad; es decir, la energía total consumida por la sociedad es igual a la suma de la energía consumida por cada individuo aislado (Petal, 1978; Jensen, 1978; Goodwin, 1982).

2. Metodología

2.1. Estructura de la base de datos y fuentes de información

Se elaboraron dos matrices de datos de municipios españoles para cada año en estudio, 1999 y 2000, con 4.590 poblados, abarcando localidades desde 50 habitantes hasta ciudades cercanas a 3.000.000 de habitantes, contemplando 11 variables (demográficas, económicas y energéticas) correspondientes a 1393 municipios. Los datos de los municipios españoles fueron aportados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), Ministerio de Educación y Cultura, Ministerio de Hacienda, las Diputaciones Forales del País Vasco y Navarra y del Ayuntamiento de Pamplona; Anuarios Social, Económico y Comercial de España 2000, 2001 y 2002 [(INE, 2004) (Anuario, 2000; 2001; 2002)], y las empresas eléctricas españolas Endesa e Iberdrola.

2.2. Definición de variables

Consumo eléctrico per cápita (ECLOG): consumo eléctrico por persona. Se estima: consumo eléctrico del municipio/población. Unidades: Megawatios-hora por habitante por año (Mwh/hab x año). Está expresado en escala logarít-

mica. **Población (POBLOG):** número de habitantes expresado en escala logarítmica. Se refiere a la población de derecho de los últimos Padrones Municipales de 1999 y 2000. **Tasa de crecimiento vegetativo de la población (TCV):** Crecimiento vegetativo (diferencia en términos absolutos entre el número de nacimientos y defunciones) de la población relativizados por cada 1000 habitantes. Se refiere a los años 1999 y 2000. **Tasa de mortalidad (MORT):** Número de fallecidos por cada 1000 habitantes: (fallecidos/total población) x 1000 habitantes. Los datos municipales de defunciones corresponden a los años 1999 y 2000 y han sido relativizados por la población de cada municipio, referida al Padrón de 01/01/2000 y de 01/01/2001. **Índice de infancia (IINF):** Número de niños (0-14 años)/100 habitantes: (Población 0 a 14 años/Pob Total) x 100 habitantes. 1999 y 2000. **Índice de juventud (IJ):** Número de jóvenes (15 a 29 años) por cada 100 habitantes: (Población 15 a 29 años/Total Población) x 100. Años 1999 y 2000. **Índice de vejez (IV):** Número de mayores (65 y más años) por cada 100 habitantes, referidos al 1 de enero de 2000 y al 1 de enero de 2001: (Población de 65 y más años/Total Población) x 100. **Índice industrial (IIND):** Índice comparativo de la importancia de la industria (incluida la construcción) de cada municipio (1999 y 2000). Se elabora en función del impuesto de actividades económicas correspondiente a las actividades industriales. Refleja el peso relativo (tanto por cien mil) de la industria de un municipio respecto al total de España, con base: Total euros de recaudación = 100.000 unidades. **Índice comercial (IC):** Índice comparativo de la importancia del comercio (mayorista y minorista) de cada municipio (1999 y 2000). Refleja el peso relativo (tanto por cien mil) de la actividad comercial municipal respecto al total de España, con base: total euros de recaudación de impuestos en España = 100.000 unidades. **Nivel Económico (NE):** Índice de la renta familiar disponible por habitante estimada por municipio para 1999 y 2000. La renta familiar se estima a partir de siete variables explicativas: líneas telefónicas de uso doméstico en primera residencia/habitante, proporción de población con estudios superiores sobre población total, proporción de población en puestos de trabajo calificados sobre población total, tasa de paro registrado total, cuota (impuesto) de actividades económicas de profesionales independientes, distancia media (en km) de cada municipio a su(s) cabeza(s) de área comercial y precio medio del m² de la vivienda. Se han definido 10 niveles (Cuadro 1).

Índice de actividad económica (IAE): Índice comparativo de la actividad económica municipal en 1999 y 2000. Se obtiene en función del impuesto correspondiente al total de actividades económicas empresariales (industriales, comerciales y de servicios) y profesionales. Expresa la par-

Cuadro 1. Niveles de renta familiar en España.

Nivel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Renta/hab/año (Euros/año)	Hasta 6.400	6.400 a 6.975	6.975 a 7.800	7.800 a 8.275	8.275 a 9.125	9.125 a 10.180	10.180 a 11.400	11.400 a 12.000	12.000 a 13.000	Más de 13.000

ticipación de la actividad económica (en tanto por 100000) de cada municipio sobre una base nacional de 100.000 unidades equivalente al total del impuesto de actividades económicas empresariales y profesionales.

2.3. Análisis de los datos

Se realizaron análisis de correlación paramétrica bivariada simple y parcial para calcular los coeficientes de correlación de *Pearson* (r) entre la variable energética (ECLOG), las demográficas (POBLOG, TCV, IINF, IJ, IV) y las económicas (IIND, IC, NE, IAE) en 1999 y 2000 (Bisquerra Alcina, 1989). La correlación parcial se estimó controlando el peso de las variables económicas sobre la relación ECLOG-variables demográficas. Se utilizó el programa estadístico SPSS (versión 11.5).

3. Resultados

3.1. Consumo eléctrico e indicadores demográficos y económicos

Las poblaciones de municipios con menos de 4000 habitantes, incluidas localidades de menos de 1.000 habitantes en el análisis, mostraron asociación positiva con ECLOG ($r = 0,18; 0,17$), mientras que las del agregado de municipios con más de 4.000 habitantes lo mostraron negativamente ($r = -0,15; -0,11$) (Tabla 1).

En el agregado de municipios con poblaciones entre 1.000 y 4.000 habitantes ECLOG mostró asociación positiva con POBLOG, TCV, IINF, IJ y con todas las variables económicas en estudio: IIND, IC, NE e IAE. En el mismo agregado poblacional, ECLOG mostró asociación negativa con MORT e IV. En el agregado de municipios con más de 4.000 habitantes toda la asociación de ECLOG con las variables relacionadas fue negativa: POBLOG, TCV e IINF. En este agregado ECLOG no mostró asociación con ninguna de las variables económicas (Tabla 2).

3.2. Consumo eléctrico e indicadores demográficos con variables económicas controladas

En los municipios con población entre 1.000 y 4.000 habitantes, la relación entre ECLOG y los indicadores demográficos sufrió variación en la mayoría de los casos cuando se realizaron análisis de correlación parcial controlando las variables económicas. En este tipo de control la asociación de ECLOG-POBLOG se perdió, ECLOG-MORT se mantuvo en el mismo sentido (negativa), ECLOG-TCV también se conservó en el mismo sentido (positiva), sufriendo un ligero descenso en intensidad en 1999, pero en 2000 “ r ” bajó casi a la mitad (de $r = 0,13$ a $r = 0,07$); ECLOG-IINF se perdió. Tanto IJ como IV mantuvieron el sentido de la relación con ECLOG, positiva en el primer caso y negativa en el segundo (Tabla 3).

En el agregado de municipios con población superior a 4000 habitantes hubo alguna variación en la relación de ECLOG con las variables demográficas cuando se controló la influencia de las variables económicas. Se mantuvo el sentido de la asociación ECLOG-POBLOG (negativo), pero la intensidad en ambos años aumentó de manera importante, ECLOG-MORT pasaron a estar asociadas en sentido positivo en 1999, con TCV se mantuvo constante en su sentido (negativo) y aumentó ligeramente en intensidad en 1999 (en 2000 la carencia de asociación se mantuvo); con IINF tuvo ligera variación en intensidad; con IJ e IV pasó a tener asociación estadísticamente significativa en 1999 ($r = -0,08$ para IJ y $r = 0,08$ para IV) (Tabla 3).

4. Discusión de los resultados

4.1. Energía y población

El patrón de consumo individual del agregado de municipios menores de 4000 habitantes es coherente con el planteamiento de la teoría termodinámica por cuanto el aumento de población trae consigo aumento de complejidad del sistema y, por tanto, mayor demanda de energía para mantener su equilibrio (asociación positiva

Tabla 1. Coeficientes de correlación (r) entre consumo eléctrico *per cápita* (ECLOG) y población (POBLOG) en agregados municipales menores y mayores de 4.000 habitantes. Incluye los municipios a partir de 50 habitantes. 1999-2000.

Año	Menores	N	Mayores	N
1999	0,18	3957	-0,15	628
2000	0,17	3937	-0,11	653

P < ,05; ns: no significativo estadísticamente. N = Número de municipios.

Tabla 2. Coeficientes de correlación (r) entre ECLOG y variables demográficas y económicas en agregados municipales menores y mayores de 4.000 habitantes. 1999-2000.

AÑO	POB (hab)	N	POBLOG	MORT	TCV	IINF	IJ	IV	IIND	IC	NE	IAE
1999	1.000-4.000	799	0,07	-0,17	0,16	0,07	0,23	-0,23	0,21	0,19	0,17	0,25
	4.001-3.000.000	594	-0,15	ns	-0,08	-0,13	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2000	1000-4.000	874	0,06	-0,18	0,13	ns	0,22	-0,22	0,18	0,14	0,23	0,22
	4001-3.000.000	651	-0,11	ns	ns	-0,10	ns	ns	ns	ns	ns	ns

P < 0,05; ns: no significativo estadísticamente. POB: Número de habitantes. r: coeficiente de correlación de Pearson. N: número de municipios del agregado. POBLOG: población en escala logarítmica; MORT: tasa de mortalidad; TCV: tasa de crecimiento vegetativo de la población; IINF: índice de infancia; IJ: índice de juventud; IV: índice de vejez; IIND: índice industrial; IC: índice comercial; NE: nivel económico; IAE: índice de actividad económica.

Tabla 3. Coeficientes de correlación (r) bivariada y parcial entre ECLOG y variables demográficas controlando el peso de las variables económicas (IIND, IC, NE, IAE). Agregados de municipios entre 1.000 y 4.000 habitantes y mayores de 4.000 habitantes 1999-2000.

AÑO	POB (hab)	N	Correlación	POB LOG	MORT	TCV	IINF	IJ	IV
1999	1.000 a	799	bivariada	0,07	-0,17	0,16	0,07	0,23	-0,23
	4.000	793	parcial	ns	-0,12	0,12	ns	0,20	-0,16
	4.001 a	594	bivariada	-0,15	ns	-0,08	-0,13	ns	ns
	3.000.000	588	parcial	-0,25	0,09	-0,10	-0,12	-0,08	0,08
2000	1.000 a	874	bivariada	0,06	-0,18	0,13	ns	0,22	-0,22
	4.000	868	parcial	ns	-0,12	0,07	ns	0,18	-0,15
	4.001 a	651	bivariada	-0,11	ns	ns	-0,10	ns	ns
	3.000.000	645	parcial	-0,20	ns	ns	-0,08	ns	ns

P < 0,05; ns: no significativo estadísticamente. POB: Número de habitantes. r: coeficiente de correlación de Pearson. N: número de municipios del agregado. POBLOG: población; MORT: tasa de mortalidad; TCV: tasa de crecimiento vegetativo de la población; IINF: índice de infancia; IJ: índice de juventud; IV: índice de vejez.

ECLOG-POBLOG, ECLOG-TCV, tablas 1,2) (Lamprecht y Zotin, 1978; Prigogine, 1967). Más aún, si desde una perspectiva sociológica se considera a la evolución como un “proceso de aprendizaje”, que entraña la incorporación de más elementos en los sistemas poblacionales (Duncan, 1976), esta asociación del flujo energético con el crecimiento poblacional es compatible con el planteamiento de la teoría termodinámica.

Esto es, el avance de la complejidad del sistema dentro de estos límites poblacionales (menos de 4000 habitantes) provoca que éste consuma más energía por individuo para mantenerse, indistintamente de que se alcance este estado de forma gradual o *punteada*. Esta suposición se refuerza con la asociación positiva reflejada con los indicadores de infancia y juventud (ECLOG-IINF, ECLOG-IJ, Tabla 2) y negativa con los indicadores de mortalidad y vejez (ECLOG-MORT, ECLOG-IV, tabla 2) en este grupo. Es decir, crecientes consumos de energía individual están asociados a elevados números de niños y jóvenes, a menor mortalidad y a mayor longevidad de la población. Los dos primeros determinan el potencial generador de población en las sociedades con el potencial añadido (individuos en edad reproductiva) para alcanzar el éxito reproductivo (Buss, 1989; Jaffé, 1990; Chisholm, 1991; Jaffé y cols., 1993), cuya consecuencia inmediata para la especie es el éxito biológico o evolutivo; mientras que las bajas tasas de mortalidad se han asociado a los adelantos agrícolas y comerciales, a la aplicación de la ciencia y tecnología a la salud y bienestar, a la industrialización y democratización, tanto en la expansión de las civilizaciones como en la transición demográfica de sociedades occidentales (Duncan, 1976; Jones y Douglas, 1997; Martínez Coll, 2001). Similarmente ocurre con la vejez: los resultados sugieren que el costo energético individual para mantener poblaciones longevas es menor que el beneficio (individuos vivos), lo que es coherente con la transición demográfica, que ha dado como consecuencia el envejecimiento de la población.

El uso eficiente de la energía, definido como menor consumo por individuo (Oster y Wilson, 1978), está relacionado con el concepto de adecuación biológica (*fitness*), que es muy heterogéneo. En el contexto de este trabajo son importantes los de MacArthur (1962), Hannon (1979) y Torres (1991). Admitiendo la tendencia evolutiva a formar organismos mejor adaptados a su ambiente, gradual o “puntualmente” (Gould, 1996) y que las sociedades son organizaciones más complejas de esos organismos, se podrían extrapolar estos conceptos de adecuación biológica,

fundamentados la mayoría en la optimización del consumo de energía, a las sociedades. En estas sociedades, se ve que la tendencia de las poblaciones mayores de 4.000 habitantes es a minimizar el consumo de energía por individuo, es decir a hacerlo más óptimo (Tabla 2).

En el campo de la sociología se ha propuesto que cuando una población crece en número, la cantidad de información disponible para cada uno de sus individuos tiende a crecer, aunque disminuyan las cantidades de materia y energía *per cápita* (Duncan, 1976). Tiene sentido que una ventaja de vivir en sociedad sea la eficiencia energética. Un individuo solitario invertiría demasiada energía (y tiempo) en muchos aspectos necesarios para sobrevivir y reproducirse, es decir, para garantizar su éxito biológico (Trivers y Willard, 1973), especialmente para que llegue a la edad reproductiva.

Algunas estimaciones establecen que el individuo actual, concentrado en las grandes urbes, consume menos energía (2133 watts/persona) que durante la Revolución Industrial (3.727 watts/persona) (Zotin y cols., 2001). Es tentadora una lectura de la situación que atribuya tal descenso del consumo energético a la escasez del recurso. Y hasta se podría encontrar soporte de ello en algunos autores que en la década de los 70 sugerían la disminución de la población porque la disponibilidad de la energía iba en descenso (Odum y Odum, 1976, 1981). Sin embargo, dado que los poblados analizados en esta investigación contemplan suficiente aporte de energía eléctrica, es decir, su consumo no está condicionado por la oferta de energía, es más razonable suponer que la tendencia sea a ser más eficiente en su consumo, esto es, disminuir el consumo eléctrico *per cápita*.

Esta tendencia se ve soportada por la relación de otro indicador demográfico, el índice de infancia (IINF), con el consumo eléctrico individual (Tabla 2). La asociación negativa del consumo eléctrico *per cápita* con el IINF ($r=-0,13$; $r=-0,10$) en este grupo de municipios sugiere que las poblaciones con más niños tienen un consumo individual más eficiente de la energía. En el orden de ideas manejado hasta aquí, en el que es relevante la medida del éxito biológico a través del tamaño poblacional, es coherente este resultado. Las poblaciones relativamente grandes son exitosas, entre otras razones, porque sus individuos optimizan su consumo energético y, para reforzar este éxito, el potencial reproductivo (representado por la infancia) debe mantener una relación de modo similar (optimizante) con el consumo de energía.

La relación entre IINF y población se evidencia en la asociación positiva de IINF con la tasa de crecimiento vegetativo de la población (TCV) en este agregado de muni-

cipios ($r = 0,65$ en ambos años). Más allá de los objetivos de esta investigación, sería interesante evaluar la hipótesis de inversión *parental* de Trivers (1972, 1974) en la infancia desde una perspectiva energética. Un punto de encuentro entre la física y la biología que, en el peor de los casos, ofrecería nuevos elementos para la discusión del desarrollo de sociedades con una visión más interdisciplinaria.

4.2. Economía, energía y población

Una relación muy importante entre las variables estudiadas es la correspondiente al consumo eléctrico *per cápita* vs variables económicas. En este caso se hizo con cuatro variables: índice industrial (IIND), índice comercial (IC), nivel económico (NE) e índice de actividad económica (IAE). Los resultados muestran asociación positiva importante de ECLOG con las cuatro variables en el agregado municipal con poblaciones entre 1000 y 4000 habitantes en ambos años, aunque carecen de correlación alguna en el agregado de municipios mayores de 4.000 habitantes (Tabla 2). En apariencia una relación obvia que muestra elevados consumos eléctricos individuales en poblaciones de relativamente alta economía, lo que en esta investigación se evalúa a través de la industria (IIND), el comercio (IC), la renta familiar (NE) y la actividad económica municipal (IAE). En otras palabras, los individuos de las economías boyantes tendrán más oferta energética, entre otras razones porque disponen de dinero para comprarla.

Aunque el crecimiento económico siga siendo prioritario, la cuestión capital es administrar sabiamente la energía para que el sistema dure más (Folch, 1999). Al respecto cabe agregar la incorporación de elementos ecológicos, geográficos, edafológicos y ambientales, para hacer más integral estos estudios. Este tipo de análisis, en el marco de sistemas ambientales complejos (Matteucci y Buzai, 1998), seguramente conducirá a sociedades “ordenadas” y “exitosas”, lo que puede traducirse en un desarrollo económico ambientalmente sustentable (Goodland y cols., 1991).

Si bien todos los indicadores demográficos estudiados en el agregado de municipios con población entre 1.000 y 4.000 habitantes, muestran una asociación con el consumo eléctrico individual coherente con una explicación termodinámica, cuando se les analiza aisladamente, es de suponer que la economía (y actividades relacionadas) pueda interferir en esta relación y ejercer un peso importante en el efecto final. Un ejemplo conocido podría ayudar a entender este caso: hay una correlación ordinaria entre la tasa de natalidad y de mortalidad cuyo coeficiente es 0,367, significativo al nivel 0,01. Sin embargo, si se tiene en

cuenta el efecto (o se controla) de una medida de tipo económico, la tasa de natalidad y mortalidad dejan de estar correlacionadas de manera significativa.

El coeficiente de correlación desciende hasta 0,1003 (con un valor de p igual a 0,304) (SPSS, —*Statistical Package for the Social Sciences*—, 2002). Pensando en ello se realizaron correlaciones parciales controlando el peso de las cuatro variables económicas evaluadas en esta investigación (IIND, IC, NE e IAE). En la Tabla 3 se resume el peso que ejercen estos indicadores económicos sobre la relación entre EC y las variables demográficas. En el agregado de municipios con menos de 4.000 habitantes se aprecia el efecto de estas variables económicas sobre la relación de ECLOG con las variables demográficas. La relación disminuye ligeramente en intensidad más no en el sentido cuando se elimina el efecto de las variables económicas. El efecto en intensidad más destacable de la economía en la demografía de este grupo es sobre la relación de ECLOG con TCV, casi a la mitad (de $r=0,13$ a $r=0,07$ en 2000) y de ECLOG con IV (de $r=-0,22$ a $r=-0,15$) sin el efecto económico.

Con la intervención de factores económicos en los municipios menores aumenta el carácter entrópico de la relación de ECLOG con el resto de las variables. En tal situación ECLOG crea nuevas asociaciones estadísticamente significativas (POBLOG, IINF) y fortalece su asociación positiva (TCV, IJ) y negativa (MORT, IV) con variables cuyo aumento de r en sus valores absolutos induce más “desorden” en el sistema. Para mantener el orden interno, las poblaciones (municipios en este caso) necesitan disipar parte de la energía incorporada al sistema, aumentando así la entropía (desorden) del entorno (medio ambiente). La capacidad de generar desorden en el entorno como consecuencia de mantener el orden interno se puede palpar en la producción cotidiana de basura y contaminación por parte de los conglomerados humanos (Fernández Valiente, 2002). Siempre, inevitablemente, será necesaria energía exterior para mantener indefinidamente vivo el sistema, o sea para evitar su, a la larga, ineluctable muerte termodinámica. No extraña lo sostenido por algunos autores: “*la disponibilidad de energía abundante es el invariable objetivo del poder, algo incrustado en la matriz cultural de todos los humanos*” (Folch, 1999).

En el agregado de municipios con más de 4.000 habitantes, aunque menos evidente, la influencia entrópica de los factores económicos también se nota. La fuerza de la relación optimizante del uso de la energía disminuye de manera importante en presencia de los factores económicos. Esto se percibe en la relación de ECLOG con POBLOG. En presencia de factores económicos (correlación bivariada) la fuerza de la relación de

ECLOG con POBLOG se reduce en valores absolutos (desde $r=-0,25$ a $r=-0,15$ en 1999 y desde $r=-0,20$ a $r=-0,11$ en 2000) y, aún manteniendo el mismo sentido eficiente (poblaciones más numerosas consumen menos energía por individuo) que en la ausencia de éstos, el peso de la economía aleja la asociación de ese comportamiento. El mismo razonamiento es válido para el cambio de la relación de ECLOG con TCV bajo control o no de las variables económicas (obsérvese la misma tabla). En los dos casos y por extensión, la relación que se aleja de la optimización, se acerca a la relación termodinámica. La variación de ECLOG con IINF por efecto de los factores económicos en este agregado es trivial.

Estos resultados, además de explicarse termodinámicamente, muestran que la actividad económica ha sido entrópicamente muy onerosa, lo que ha debido ser compensado con la incorporación de cantidades de energía exterior al sistema. Lo ideal, así como la vida es una lucha contra el fatal incremento entrópico, es que la estrategia económica también lo sea. Es importante tener en cuenta que la entropía refleja el momento termodinámico en el que se encuentra el sistema; si la entropía es baja o se mantiene, el sistema tiene vida por delante, si la entropía crece, el sistema se está muriendo (Folch, 1999). Según estos resultados, puede asociarse a la energía la tesis económica heterodoxa que sostiene la inviabilidad de un “estado estacionario” permanente, concediéndole gran importancia a la entropía del sistema y estableciendo que “*la termodinámica es el fondo físico de la economía y que la ley de la entropía es la más económica de todas las leyes naturales*” (Georgescu-Roegen, 1996).

5. Conclusiones y sugerencias

- Existe una clara bifurcación en el comportamiento del consumo de la energía individual a partir de cierto tamaño poblacional de las poblaciones españolas.
- El patrón de consumo energético individual del agregado municipal con menos de 4.000 habitantes puede ser explicado por la termodinámica irreversible: los individuos de los municipios más pequeños tienden a consumir más energía.
- El patrón del subagregado municipal con más habitantes puede ser explicado por la teoría de optimización del consumo energético: desde el punto de vista del flujo de energía, los individuos de las ciudades más grandes son más eficientes en el uso de la energía.
- El carácter entrópico de las ciudades viene dado por sus características globales, sin que ello involucre

obligatoriamente un uso de la energía termodinámicamente irreversible por parte de cada uno de sus habitantes.

- Son tan importantes los recursos económicos como los energéticos en las evaluaciones demográficas de agregados de poblaciones humanas.
- Se sugiere ampliar las evaluaciones realizadas en este trabajo (demográficas-económicas-energéticas) con inclusión de otros indicadores de consumo de energía y de variables sociales, geográficas y medioambientales.

6. Bibliografía

- Anuarios Social, Económico y Comercial de España 2000, 2001 y 2002. Disponibles en www.estudios.lacaixa.es/anuario
- BISQUERRA Alcina, R. (1989). **Introducción conceptual al análisis multivariable**. Vol. I. Promociones y Publicaciones Universitarias, S.A. Barcelona, España. 397 pp.
- BUSS, D. (1989). Sex differences in human mate preferences: Evolutionary hypothesis tested in 37 cultures. **Behavioral and Brain Sciences** 12: 1-39.
- CHISHOLM, J. (1991). Whose reproductive values? **Brain and Behavioral Sciences** 14: 519-520.
- DUNCAN, O. D. (1976). La organización social y la ecología. En **La vida social. Tratado de sociología III**. Dirigido por Robert E.L. Faris. Editorial hispano europea. Barcelona. España. 1-78 pp.
- FERNÁNDEZ V. E. (2002). La importancia de lo pequeño. Comunidades bacterianas y sociedad humana. **Política y Sociedad** 39 (3): 575-581.
- FOLCH, R. (1999). **Diccionario de Socioecología**. Editorial Planeta. Barcelona. España. 325 pp.
- FONCK, C.; JAFFÉ, K. (1996). On the Energetic Cost of Sociality. **Physiology and Behavior** 59: 713-719.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1996). **La ley de la entropía y el proceso económico**. Fundación Argentaria, Madrid.
- GOODLAND, R.; DALY, H.; EL SERAFY, S. y VON DROSTE, B. (1991). **Environmentally sustainable economic development: building on Brundtland**. UNESCO. París.
- GOODWIN, B. C. (1982). Development and Evolution. **Journal of Theoretical Biology** 97: 43-55.
- GOULD, S.J. (1996). **Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin**. Harmony Books. New York.
- HAKEN, H. (1994). **Fórmulas del éxito en la naturaleza. Sinérgica: la doctrina de la acción de conjunto**. Salvat Editores, S.A. Barcelona. España.
- HANNON, B. (1979). Total energy cost in ecosystems. **Journal of Theoretical Biology** 80: 271-294.
- HARRIS, M. (2004). **Introducción a la Antropología General**. Alianza Edit. Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2004). Atlas Geográfico Nacional. Disponible en www.ine.es

- JAFFÉ, K. (1990). Análisis sociobiológico del comportamiento reproductivo de poblaciones humanas. *Atlántida* 27: 42-55.
- JAFFÉ, K.; URIBARRI, D.; CHACÓN, G.; DÍAZ, G.; TORRES A.; HERZOG, G. (1993). Sex linked strategies of human reproductive behavior. *Social Biology* 40: 61-73.
- JAFFE, K.; FONCK, C. (1994). On the Energetic cost of sociality. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.
- JENSEN, T. F. (1978). Annual production and respiration in ant populations. *Oikos* 31: 207-213.
- JONES, G. W. y DOUGLAS, R. M. (1997). **The Continuing Demographic Transition**. Clarendon Press. Oxford. 1-12.
- MACARTHUR, R. H. (1962). **Some generalized theorems of natural selection**. *Genetics* 48: 1893-1897.
- MADDOX, J. (1994). Is Darwinism a thermodynamic necessity? *Nature* 350: 653.
- MARTÍNEZ Coll, J. C. (2001). Demografía. En **La Economía del Mercado, virtudes e inconvenientes**. Disponible en <http://www.eumed.net/cursecon/2/dem.htm>
- MATTEUCCI, S .D.; BUZAI, G. D. (1998). **Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial**. Eudeba, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 454 pp.
- MAYR, E. (1998). **Así es la Biología**. Editorial Debate. Madrid. 326 pp.
- NICOLIS, G. y PRIGOGINE, I. (1977). **Self-organization in Nonequilibrium Systems**. Willey-Interscience, N.Y. 491 pp.
- ODUM, H.T; ODUM, E.C (1981). **Hombre y naturaleza. Bases energéticas**. Ediciones Omega. Barcelona. España. 319 pp.
- OSTER, G; WILSON, E. (1978). **Caste and Ecology in the Social Insects**. Princeton University Press, New Jersey. 352 pp.
- PETAL, J. (1978). **Production ecology of ants and termites**. Cambridge University Press. London.
- PRIGOGINE, I. (1967). **Introduction to thermodynamics of irreversible processes**. Interscience. New York.
- SCHMIDT-NIELSEN, K. (1985). **Scaling: Why is animal size so important?** Cambridge University Press. Cambridge. 241 pp.
- SMITH, E. A. y WINTERHALDER, B. (2003). Human Behavioral Ecology. En **Encyclopedia of Cognitive Science**, Volume 2. Nadel L, ed. London: Nature Publishing Group. 377-385.
- STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES (SPSS). (2002). Versión 11.5.
- TORRES, J. L. (1991). **Natural Selection and Thermodynamic Optimality**. *IlNuovoCimento* 13D: 177-185.
- TRIVERS, R (1972). Parental investment and sexual selection. En **Sexual selection and the descent of man 1871-1971**. Ed. B. Campbell. Aldine, Chicago. 136-179 pp.
- TRIVERS, R. L. y Willard, D. E. (1973). Natural selection of parental ability to vary the sex ratio of offspring. *Science* 179: 90-91.
- TRIVERS, R (1974). Parent-Offspring conflict. *American Zoologist* 14: 249-264.
- WEST, G; BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. (1999). The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms. *Science* 284 (5420): 1.
- WINTERHALDER, B (2002). Behavioral and other human ecologies: Critique, response and progress through criticism. *Journal of Ecological Anthropology* 6: 4-23. 677-1679.
- ZOTIN, A. A.; LAMPRECHT, I. y ZOTIN, A. I. (2001). Bioenergetic Progress and Heat Barriers. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics* 26: 191-202.